

DISCURSO PRONUNCIADO POR EL NUEVO DOCTOR AMABLE LIÑÁN

*Excmo. Señor Rector Magnífico
Excelentísimas e Ilustrísimas Autoridades
Miembros del Claustro Universitario
Señoras y Señores*

DEBO empezar cumpliendo con la noble obligación de expresar mi agradecimiento a la Universidad de Zaragoza por esta distinción que me honra y me obliga al mismo tiempo.

El agradecimiento tiene dobles raíces. En primer lugar, porque proviene de una de las universidades más prestigiosas de nuestro país, con una antigua y renovada tradición de excelencia. En segundo lugar, porque este nombramiento refuerza las relaciones fructíferas que he mantenido con no pocos de los profesores de esta Universidad. He tenido con algunos de ellos, desde hace muchos años, la fortuna de disfrutar de una profunda y sincera amistad, acompañada por mi parte de una especial admiración por la actividad docente y científica que realizan. Aunque yo siempre les he agradecido el interés que también ellos han mostrado por mi propia actividad científica, y por el cariño con que la han apoyado, aprovecho aquí la ocasión para expresarles mi reconocimiento público por haber contribuido a alumbrar en Zaragoza un Grupo, al que yo miro con orgullo casi paternal, que está dedicado a la docen-

cia e investigación en el área de mi propia actividad, la Mecánica de Fluidos y Combustión. Este grupo, creado y animado por el profesor César Dopazo, contribuye hoy a la excelencia de esta Universidad con una labor mundialmente reconocida y apreciada por su calidad y originalidad.

La Universidad, y dentro de ella las Escuelas de Ingeniería, debe ocuparse de transmitir el conjunto de conocimientos que, según el Diccionario de la Real Academia Española, son la base de la Ingeniería; esto es, los conocimientos que permiten aplicar el saber científico a la utilización de los materiales y de las fuentes de energía, mediante invenciones o aparatos útiles para el hombre. Pero también es tarea de la Universidad contribuir, mediante la investigación, a aumentar el caudal de conocimientos; anticipándose a los retos del futuro en un mundo como el actual, de tecnología tan rápidamente cambiante.

Pocas tareas hay tan gratificantes como la docencia, cuando uno consigue transmitir a los alumnos el entusiasmo por la adquisición de conocimientos basados en el orden armonioso, siempre sorprendente, de los fenómenos físicos; haciéndoles ver las posibilidades que ofrecen estos conocimientos para la concepción, diseño, fabricación, mantenimiento y utilización de sistemas de ingeniería más eficientes.

Cuán gratificante es también la tarea del profesor que se esfuerza en contribuir con su trabajo de investigación a la suma de los conocimientos científicos, y consigue despertar en sus alumnos el interés por descubrir nuevas herramientas o nuevos conocimientos útiles para el análisis y solución de los problemas de Ingeniería.

Cuando yo llegué a la Universidad aún no se había implantado el doctorado en las Escuelas de Ingeniería. Sin embargo, yo tuve la fortuna de encontrar en la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos un grupo de profesores, dirigidos por Gregorio Millán, dedicados a la enseñanza de la Mecánica de Fluidos y a la investigación en Combustión, que me acogieron como becario y me hicieron ver, con su ejemplo, que también era posible en España contribuir a ampliar el conjunto de conocimientos necesarios para la formulación y solución urgente de los problemas tecnológicos.

Yo, siguiendo a mis maestros, he animado a mis alumnos para que se esfuercen en la búsqueda de explicaciones racionales de los procesos fluidodinámicos.

námicos y de combustión; de manera que estas explicaciones les ayuden a desarrollar los conceptos y herramientas que faciliten la obtención de predicciones útiles para la Ingeniería. He tenido la suerte de contar en este empeño con alumnos y colaboradores brillantes, como el que me apadrina en este acto, que han respondido a este estímulo con contribuciones muy importantes a la Mecánica de Fluidos y Combustión. Se ha invertido así el binomio profesor alumno, siendo los alumnos los que se encargan con sus contribuciones científicas de mantener el entusiasmo del antiguo profesor, y también, especialmente en mi caso, son ellos los responsables del prestigio y honores con que he sido agraciado.

La tarea de la investigación, cuando tiene como objetivo proporcionar las herramientas que ayuden a resolver los problemas de la Ingeniería, es obligatoriamente multidisciplinar y por ello tarea colectiva. Para que el esfuerzo investigador tenga sus frutos es necesario contribuir al mismo con habilidades muy diversas, tanto desde el punto de vista teórico como experimental. La investigación científica con objetivos tecnológicos es un empeño colectivo de tipo integrador de tareas teóricas y experimentales, que debe llevarse a cabo de un modo coordinado para que sea eficaz. Por ejemplo, la interdisciplinariedad de las tareas teóricas proviene de la necesidad de reunir las leyes y conceptos de disciplinas muy diversas, para establecer el marco que permita el análisis de los complejos sistemas tecnológicos. Este es el caso de la investigación de los procesos de combustión, que ha sido el objetivo central de mi trabajo de investigación.

La combustión es una reacción química, con liberación de calor y emisión de luz, entre un combustible (como el carbón, los hidrocarburos o el gas natural) y el oxígeno del aire. La reacción química tiene lugar generalmente en fase gaseosa después de la gasificación del combustible y su mezcla íntima con el aire.

Las aplicaciones de la combustión se derivan del carácter exotérmico de estas reacciones químicas y de la radiación luminosa emitida. Desde hace medio millón de años el hombre ha utilizado la combustión para alumbrarse, calentarse y cocer los alimentos, y, ahora también, para la generación de energía eléctrica. Pero el calentamiento de la mezcla reactante y de los productos de la combustión, que está asociado a la exotermicidad de la reacción, va acompañado por incrementos de presión y por la expansión de los gases de

combustión; de ahí la posibilidad de producir trabajo con ayuda de estos gases. Tal posibilidad se ha aprovechado en las máquinas de vapor, los motores alternativos (de encendido por chispa y Diesel), los turborreactores, motores cohete y turbinas de gas, que han cambiado radicalmente nuestro modo de vida.

Quemamos anualmente 5.000 millones de toneladas de hidrocarburos y otros 2.000 millones de toneladas de carbón. Al ritmo de consumo actual acabaremos, en menos de un siglo, con los hidrocarburos líquidos o gaseosos existentes, que han tardado en formarse cientos de millones de años. Este consumo se hace, fundamentalmente, por los países ricos, con rendimientos muy escasos; típicamente, sólo del orden del 25 por ciento de la energía química se aprovecha como energía mecánica. Pero, por otra parte, los productos de la combustión, esencialmente vapor de agua y dióxido de carbono, van acompañados por sustancias contaminantes (como hidrocarburos sin quemar y óxidos de nitrógeno y azufre) que, aunque emitidos en proporciones mil veces más pequeñas, son dañinos para la salud de las plantas y animales.

De ahí que la tarea de aumentar el rendimiento de los sistemas de conversión de energía y propulsión (basados en la combustión) sea una tarea de extraordinaria importancia económica. Pero este aumento del rendimiento debe hacerse atenuando simultáneamente la emisión de contaminantes, si tenemos en cuenta el enorme impacto ambiental que tienen los sistemas de combustión. La preocupación creciente de la sociedad por el medio ambiente nos obligará, mediante la legislación necesaria, a rediseñar los sistemas de combustión actuales.

En los sistemas de combustión intervienen una gran variedad de procesos o fenómenos físicos. Decía que la combustión, o reacción del combustible con el oxígeno del aire, ocurre en fase gaseosa en la mayoría de las aplicaciones. Por ello, por ejemplo, antes de introducir el carbón en las cámaras de combustión de las centrales térmicas, éste se tritura y pulveriza para facilitar su gasificación. Las partículas de carbón, con tamaños inferiores a las 100 micras, son arrastradas por una corriente de aire para alimentar la cámara de combustión, mediante un sistema de inyectores. Cada uno de éstos genera un chorro central, de aire primario con partículas de carbón, y un chorro coaxial de aire secundario. El comportamiento de la caldera está determinado por la interacción de estos chorros entre ellos y con los productos de la combustión.

De modo análogo, en las cámaras de combustión de los motores diésel y de los motores de reacción y cohete, el combustible se inyecta en la cámara en forma de chorros líquidos que, como consecuencia de una variedad de inestabilidades hidrodinámicas, se atomizan para formar con el aire chorros multifásicos, en forma de neblinas formadas por gotas líquidas y aire.

Para aumentar la eficacia de los sistemas de combustión es imprescindible conocer los mecanismos responsables de las inestabilidades que facilitan la atomización y mezcla con el aire de estos chorros de combustible y disponer también de métodos de simulación experimental y de cálculo, no demasiado costosos, para analizar la dinámica de estos chorros.

El análisis teórico de la mezcla y reacción química de los gases combustibles con el aire ha de empezar con la formulación matemática de los procesos de combustión, reuniendo, como hicieron Teodoro von Karman y Gregorio Millán, las leyes que nos proporciona la teoría de los fenómenos de transporte de calor y masa (incluyendo la radiación), en el marco de la Mecánica de Fluidos; añadiendo las leyes de la Cinética Química y de la Termodinámica de mezclas reactantes. Para esta formulación tenemos todavía lagunas importantes en cuanto a la cinética de las reacciones químicas y, en particular, respecto al mecanismo y cinética de formación y crecimiento por aglomeración del hollín o carbonilla, que desempeña un papel importante en el transporte de energía por radiación.

Al ingeniero no le basta conocer las leyes básicas que rigen el proceso que analiza; para el diseño de los sistemas necesita conocer las propiedades de las soluciones, o las soluciones mismas, correspondientes a las condiciones de contorno que impone el sistema que se analiza. Deducir las propiedades de las soluciones, aun dejando de lado el objetivo de obtener las soluciones mismas, es una tarea matemática extraordinariamente difícil; especialmente, cuando se trata de los sistemas de ecuaciones no lineales tan complejos como los de la Dinámica de Fluidos y Combustión. Este análisis teórico se simplifica cuando se aprovecha la gran disparidad en el tamaño de escalas temporales y espaciales que caracterizan estos sistemas.

La posibilidad de dividir el sistema fluido en subsistemas, que interactúan entre sí con respuesta más simple que el sistema original, se deriva de este carácter multiescalar de los procesos que en ellos encontramos. Las técnicas

asintóticas, de escalas múltiples y de los desarrollos asintóticos acoplados, proporcionan la metodología que nos enseña cómo dividir el sistema en subsistemas (por ejemplo, cómo se divide el campo fluido en regiones, algunas de tipo capa o filamento) y cómo obtener las leyes correspondientes a la descripción simplificada de los subsistemas y los mecanismos de interacción entre ellos. También en la evolución temporal de los sistemas físicos con escalas dispares encontramos etapas bien diferenciadas, en las que la respuesta del sistema va cambiando porque cambian los mecanismos físicos o químicos determinantes (o los de efecto despreciable).

El análisis asintótico nos ayuda a descubrir y obtener los conceptos teóricos que pueden servir de base tanto para el análisis numérico de los procesos como para el análisis experimental. La gran capacidad de los ordenadores actuales nos permite la simulación numérica de sistemas complejos si previamente se ha simplificado la modelización matemática de los mismos con ayuda de técnicas asintóticas. Estas técnicas pueden utilizarse también para ordenar la ingente masa de datos que proporciona la simulación numérica.

Por otra parte, los flujos que encontramos en los sistemas de combustión son turbulentos. La cualidad turbulenta de estos flujos es imprescindible para hacer rápido y eficaz el proceso de mezcla. El carácter caótico, en el sentido del caos determinístico, que tienen los flujos turbulentos nos trae a la memoria los versos de Borges:

El vago azar o las precisas leyes
que rigen este sueño, el universo.

Este carácter turbulento introduce un horizonte temporal de predictibilidad en el análisis numérico de estos flujos cuando utilizamos las leyes fundamentales originales, y esto conduce a la necesidad de análisis estadístico de las soluciones. O, a la vista de la urgencia de la solución de los problemas de la ingeniería, nos vemos obligados a la utilización de leyes fenomenológicas para «cerrar» las ecuaciones que cumplen los valores medios estadísticos.

El descubrimiento experimental de estructuras coherentes en los chorros y capas de mezcla turbulenta, que son determinantes de su comportamiento y estructura global, ha aportado la esperanza de la modelización y el control racional de los procesos de mezcla.

Para la simulación experimental de los procesos de combustión se dispone hoy día de técnicas de tipo Láser, de visualización, de anemometría y de medición de concentraciones y temperaturas. Estos métodos Láser proporcionan una cantidad ingente de datos que se han de manejar con técnicas de adquisición y tratamiento con ayuda de los potentes ordenadores actuales.

Yo he tenido la fortuna de contar con antiguos alumnos y colaboradores, excepcionalmente brillantes, que han hecho contribuciones muy importantes al conocimiento científico. Contribuciones, en primer lugar, al análisis experimental de los procesos de mezcla, con o sin combustión, utilizando técnicas avanzadas de visualización y anemometría Láser. Contribuciones, en segundo lugar, a la formulación estadística de los procesos de combustión turbulenta, a la simulación numérica directa de los flujos turbulentos y también a las simplificaciones que, gracias a la presencia de escalas con tamaños muy dispares, pueden introducirse en el análisis de los procesos de combustión mediante técnicas asintóticas.

Uno de estos alumnos, con el que me unen vínculos muy especiales, empezando por nuestra común procedencia leonesa, es el que se ha encargado de hacer la *Laudatio*, en la que los elogios responden, más que a la realidad, a la amistad profunda que nos une. Ésta arranca del período en que fue uno de mis alumnos más brillantes, cuando, en mi primera etapa como profesor de Mecánica de Fluidos, yo tenía la impresión, que estoy seguro compartían mis alumnos, de que ellos y yo estábamos descubriendo e intentando aprehender simultáneamente los conceptos básicos de una disciplina fascinante.

En su tesis doctoral, César Dopazo se ocupó del análisis de los flujos reactivos turbulentos, para lo cual generalizó la formulación previamente desarrollada por Hopf para flujos no reactivos, con el objetivo de describir estadísticamente la evolución de las fluctuaciones. El tratamiento adecuado de las fluctuaciones espaciales y temporales, de temperaturas y concentraciones, que encontramos en los flujos turbulentos reactivos, es muy importante para la modelización de la combustión y de los contaminantes emitidos. Esto se debe a la gran sensibilidad que tienen con la temperatura las reacciones químicas que dan lugar a los contaminantes. Las aportaciones de César Dopazo y sus colaboradores al desarrollo de métodos para describir estas fluctuaciones son mundialmente reconocidas.

Pero las aportaciones del profesor Dopazo no se limitan a la Teoría de la Combustión Turbulenta. Desde su llegada a Zaragoza no ha cesado en su empeño de contribuir a la solución de los problemas tecnológicos ligados a la combustión, mediante técnicas experimentales y de simulación numérica. La creación y realidad actual del LITEC es un exponente del tesón de César Dopazo, que, para gran admiración mía, no se deja amilanar fácilmente por las dificultades.

Con este nombramiento estáis honrando las contribuciones de mis alumnos y colaboradores; contribuciones que, por otra parte, les han proporcionado un bien merecido prestigio en la comunidad científica internacional de la Mecánica de Fluidos.

Muchas gracias.

Amable Liñán